

Zeitschrift: Schweizer Schule
Herausgeber: Christlicher Lehrer- und Erzieherverein der Schweiz
Band: 27 (1940)
Heft: 9

Artikel: Die physikalischen Grundgedanken und ihre Nutzung im Unterricht
[Fortsetzung]
Autor: Dessauer, Friedrich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-532810>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

blüht die Feige des Jahres und trägt dreifache Frucht: Vor-, Sommer- und Winterfeigen. Drei Generationen der Feigengallwespe bewirken auch die Bestäubung. Jede Wespengeneration aus der vorgängigen Fruchtperiode der Ziegenfeige befruchtet die folgende der Edelfeige.

So sind Wespe und Ziegenfeige auf beste aufeinander abgestimmt in der gegenseitigen Ausnutzung des grossen Triebes zur Erhaltung der Art. Der edle Feigenbaum schiebt sich in diese geheimnisvolle Lebensgemeinschaft hinein.

Dr. H. Weber.

Mittelschule

Die physikalischen Grundgedanken und ihre Nutzung im Unterricht*

VII.

Zunächst freilich scheiterten die Versuche, der Maxwell'schen Feldkonzeption die mechanischen Ereignisse unterzuordnen. Ja noch mehr: Es stellte sich heraus, dass auch die elektrischen Vorgänge nicht in der Feldvorstellung aufgingen. Die zuversichtliche Hoffnung mancher Physiker der damaligen Zeit, elektrische Ladungen und Ströme würden sich gewissermassen als Randerscheinungen der Feldvorgänge deuten lassen, zerbrach. Vielmehr stellte sich heraus, dass in der Elektrodynamik ein weiterer realer Mitspieler auftritt: das Elektron. Es gelang, dieses Elementarglied der physikalischen Welt auf die mannigfaltigste Weise experimentell zu erforschen. Man konnte es in den Kathodenstrahlen auf seiner Wegspur in den Feldern verfolgen, und in Milikan'schen Schwebtröpfchen wurde es sogar einzeln gemessen und gewogen. Es hat eine bestimmte, immer die gleiche Ladung; es hat eine bestimmte Ruhemasse, die um drei Zehnerpotenzen kleiner ist, als die kleinste bisher gefundene träge Masse, und jede Ladung und jeder fliessende Strom ist ein ganz zahliges Vielfaches davon. Alles fundamentale Wissen der Elektrodynamik zusammen-

fassend, gestaltete A. H. Lorentz in Leyden im Jahre 1905 die Elektronentheorie. Sie ist heute die praktische Grundlage, und sie bildet zugleich den besten Ausgangsort — auch pädagogisch — für das Studium der Elektrizitätslehre. Elektronen sind in vierfacher Weise mit der Stoffwelt verknüpft: In Metallen und Kohle frei (ohne Stofftransport) beweglich; diese Vorstellung liefert die Gesetze der elektrischen Leitung. Im Elektrolyten sind sie an Molekülteile geheftet und dadurch in ihrer Beweglichkeit stark beeinträchtigt: die Gesetze der elektrolytischen Leitung sind daraus ableitbar. Im Dielektrikum sind sie in der Regel quasi-elastisch an die Moleküle geknüpft. Die schwierig darzustellenden Vorgänge, etwa in den Kondensatoren, werden dem Schüler dadurch leicht verständlich. Endlich in den Gasen sind sie an meist nicht dissoziierte Moleküle geheftet und besitzen mit ihnen die freien Weglängen. — Fragt man aber, was sie sind und, vor allen Dingen, wie sie sich zu den bisherigen Grundrealitäten verhalten, so gibt es Schwierigkeiten. Mit den Massepunkten Newton's haben sie die Ähnlichkeit der Singularität. Sie sind diskontinuierliche Einheiten. Aber die Massenpunkte Newton's waren eine Idealisierung, die man als Annäherung in gewissen Fällen etwa auf

* Siehe Nr. 7 und 8.

Moleküle und Atome anwenden kann. Das Elektron ist eine Realität. Der elektrische Strom ist nichts als die Anzahl Elektronen, die in der Sekunde durch irgend einen Querschnitt hindurch geht. Von der Newton-Welt unterscheidet die Elektronen ferner, dass sie auf elektrische Feldkräfte reagieren, was die Massenzentren nicht tun. Elektronen stossen sich ab, während die Massenzentren sich wechselseitig anziehen; aber die Elektronen sind zugleich auch wirkliche Massenzentren mit Trägheit und Zugriff der Gravitation, also mit träger und schwerer Masse. Zwei Kräftearten wirken auf sie, während in der Newton-Welt auf Distanz nur die Massenanziehung wirkt; und endlich, wenn Elektronen bewegt sind, gehen magnetische Feldkräfte von ihnen aus.

Also eine neue Singularität! So wie die Masse eines Massenzentrums nicht etwa im Begriffe des Gravitationsfeldes aufgeht (sondern die Gravitationskraft geht vom Massenzentrum aus und endet im Massenzentrum), so war die Bemühung, das Elektron im Feldbegriff aufgehen zu lassen, gescheitert. Lorentz musste den Dualismus „Feld“ und „Elektron“ durch die ganze Theorie konsequent durchführen. Das bedeutet aber zugleich offensichtlich Kontinuum und Diskontinuität, also beides. Die träge Materie war schon längst als diskontinuierlich erkannt. Gasatome zum Beispiel sind verhältnismässig seltene Singularitäten in „physikalisch leeren Räumen“, etwa räumlich so selten wie die Planeten im Raum des Sonnensystems. Die Elektronen sind ebenso Singularitäten. Dazwischen erstreckt sich ein Kontinuum, dem man je nach Umständen verschiedene Namen gibt: Physikalisch leerer Raum, Gravitationsfeld, elektromagnetisches Feld. Und zum Ueberfluss gesellte sich in den letzten Tagen des scheidenden Jahrhunderts, im Dezember 1900, eine dritte fundamentale Diskontinuität hinzu: die Wirkungen der

Energie erfolgen bei genauem Zusehen diskontinuierlich, in den Planckschen Quanten, einer Art von Wirkungsatomen. Drastisches Beispiel hierfür ist, dass jede Lichterscheinung aus diskreten Lichtquanten, d. h. also aus einer ganzzahligen Summe sogenannter Photonen besteht.

VIII.

Wenn es auch richtig ist, dass der gesamte riesige physikalische Tatsachenschatz auf diese wenigen Einheiten — die dreifache Diskontinuität von Materie, Elektrizität und Energiewirkung und das Kontinuum Feld, hinter dem sich Raum und Zeit verbergen — gegründet ist, so lässt es die innere Notwendigkeit des Forschens keineswegs bei einem solchen Befunde. Vielmehr suchte sie immer nach tieferer Einheit. Lässt sich vielleicht doch die Feldtheorie so ausbauen, dass sie die Mechanik umgreift? Lässt sich dabei das Geheimnis des Raumes ergründen, der, obgleich „physikalisch leer“, ganz konkrete Eigenschaften aufweist und eine euklidische Struktur zu haben scheint, aber vielleicht ganz andere Struktur haben könnte? Und wie ist der Uebergang zwischen Materie und Energie beschaffen, der bestehen muss, weil er in einer ganzen Reihe von Experimenten sichergestellt ist? Die Versuche, weiter zu dringen, sind folgende: Die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie sind gewaltige Unternehmungen, die Feldtheorie auszubreiten — mit beträchtlichem Erfolg gekrönt, aber vom Abschluss noch um eine Distanz entfernt, die man nicht kennt. Es ist ferner die Quantentheorie und die Wellenmechanik. Alle diese Konzeptionen haben grosse Teilerfolge, und um sie kreist das heisse Bemühen unserer heutigen Physik.

Wir müssen uns für diesmal mit wenigen abschliessenden Notizen begnügen, denn es ist noch zu schwer, den Gedankengehalt und die Problemlage dieser Versuche knapp, verständlich und richtig in einem

Aufsatz darzustellen. Gemeinsam ist diesen Richtungen, dass es sich um eine Art von „gedanklich-experimentellen Deduktionen“ handelt. Es sind nicht eigentlich von der Induktion her gewonnene Theorien, sondern, indem sie von physikalischen Erfahrungstatsachen ausgehen, machen sie vorläufige Annahmen, manchmal mit einer Modellvorstellung verbunden. Es wird dann aus diesen Annahmen „tastend“ deduziert* und oft nur mathematisch weiter geschlossen, und Ergebnisse (manchmal erst ziemlich späte) dieses „Tastens“ werden wieder an dem Tatsachenbestand geprüft. Dabei wird, wenn nötig, das Modell immer wieder geändert. — Die spezielle Einsteinsche R.-Theorie wurde durch ein physikalisches Ergebnis erzwungen, nämlich die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit unabhängig von der Bewegungsrichtung der Erde. Sie hat zur Folge, dass man unausweichlich auf den „ruhenden Aether“ der Lorentz-Theorie als ein bevorzugtes Bezugssystem verzichten muss. Diese Tatsache und die weitere, dass der Raum sich der Erfahrung nie allein bietet, dass vielmehr alle physikalische Erfahrung im „Feld“ den Raum mit der Zeit unlöslich verknüpft ergibt, (auch in dieser Grundkonstante c der Lichtgeschwindigkeit) — all dies führt ebenso unausweichlich zu der Konsequenz, dass die bisher als selbstverständlich mitgeführten Annahmen über Raum und Zeit ungenau waren. Das hat sich ganz besonders in der Untersuchung des Begriffes der Gleichzeitigkeit herausgestellt. Es fehlte an einer scharfen Herausarbeitung der Verknüpfung zwischen dem Koordinatenbegriff des Raums und der Zeit und den erlebten Phänomenen, aus denen eben die Begriffe Raum und Zeit gewonnen waren.** Was physikalisch von Raum und Zeit greifbar ist, besteht in ihrer Struktur, in ihrem

Mass-System. Die philosophische Frage, was ausserhalb des Mass-Systems noch darin steckt, kann dabei zurückgestellt werden. Nun ergibt sich nach Klärung dieser Verknüpfung die Minkowskische Vereinheitlichung von Raum und Zeit in der vierdimensionalen „Minkowski-Welt“. Sie umfasst alle Inertialsysteme, d. h. alle nicht beschleunigten Systeme. In ihnen gilt die Unveränderlichkeit der Naturgesetze beim Wechsel der Systeme und die Gleichberechtigung ihrer Koordinaten und Maßstäbe. Damit entstehen Möglichkeiten, von einem Inertialsystem zu einem anderen Inertialsystem eindeutig überzugehen mit Hilfe der Transformationsgleichungen, den sogenannten Lorentz-Transformationen. Das hat aber zugleich die Folge, dass die Masse nicht konstant ist, sondern bewegungsabhängig — zunächst die träge, dann aber auch die schwere — und dass es einen eindeutigen quantitativen Uebergang zwischen Masse und Energie gibt. Die spezielle Relativitätstheorie ist nachgeprüft und bestätigt. Sie durchzieht die ganze neuere Physik und ist eine Selbstverständlichkeit geworden. Sie ist zugleich eine Erweiterung der Feldtheorie, also des Maxwell'schen Standpunktes. Aber es gelingt ihr nicht, die Singularitäten (Elektron, Massenpunkt) zu beseitigen — und ebensowenig elektrische, magnetische und Gravitationskräfte zur Einheit zu bringen.

Die allgemeine Relativitätstheorie nimmt Anstoss an der Vorzugstellung der Inertialsysteme. Der Ausgangspunkt ihrer Ueberlegungen ist die Gleichheit der trägen und der schweren Masse. Was ist das für eine Gleichheit? Erfahrungsmässig sind zwei wesensungleiche physikalische Objekte hier maßstäblich gleich. Die gleiche träge Masse (die man ja nur messen kann durch die Kraft, die zu ihrer Beschleunigung notwendig ist), hat am Äquator, am Nordpol und auf jedem Stern denselben Betrag, aber sie wiegt am

* „Tastende Deduktion“ sagte Einstein in einem Aufsatz über Raum-, Aether- und Feldproblem.

** Einstein in seiner Londoner Rede.

Aequator, am Nordpol und auf den Sternen verschieden schwer. Dies kommt lediglich daher, dass der Faktor, den man gewöhnlich mit g bezeichnet, nämlich die Gravitationsbeschleunigung, verschieden ist, während der andere Faktor, m , die Masse, in der Grösse gleich bleibt. Diese Gleichheit kann nicht zufällig sein. Wenn nun wirklich die Lichtgeschwindigkeit eine fundamentale Naturkonstante ist, und somit Wesenseigenschaft des Feldes (hinter dem Raum und Zeit in Verknüpfung sich verbergen), dann ergibt sich in eindeutiger Logik die allgemeine Relativitätstheorie. Die Naturgesetze sind auch in beschleunigten Systemen unverändert. Trägheit und Schwere bekommen einheitlichen Sinn durch die Wiederentdeckung, die physikalische Begründung der Riemannschen Metrik. Der Raum oder das Feld, soweit es sich in Richtung und Mass offenbart, ist nicht mehr unabhängig („absolut“), sondern bestimmt durch die Konfigurationen der Massen im Weltraum. Diese schreiben dem Raum seine Struktur vor — damit die in jedem Gebiete des Raumes geltende, im Grunde physikalisch gewordene Geometrie, die Struktur des Feldes, und zwar zunächst des Gravitationsfeldes. Nicht gelöst ist die Vereinigung des Gravitationsfeldes mit dem elektromagnetischen Feld, nicht gelungen ist bis jetzt der Versuch, die Singularitäten, also Elektronen, Protonen, Massenelemente etwa als Stellen besonderer Feldverdichtung vom Feldbegriff her zu deuten. Hieran wird unausgesetzt gearbeitet.

Quantentheorie und Wellenmechanik stehen der experimentellen Physik näher, als die allgemeine Relativitätstheorie. Das Theoretische und Experimentelle schreitet in diesen Gebieten miteinander fort. Sie haben als Zentrum der Problematik die Verknüpfung von Energie und Singularität. Insbesondere handelt es sich um die elektromagnetische Energie, von der die Quantelung ausging, und die

kleinsten Singularitäten, wie Elektron, Photon, Positron. Die Klärung dieses Zusammenhanges liefert den Schlüssel für die Mikrophysik, den Schalenbau und Kernbau der Atome und somit für die Stelle, wo man erfahren kann, „was die Welt im Innersten zusammenhält“. In der Durcharbeitung dieser Probleme hat die Physik das Maximum an abstraktiver Kraft, mathematischer Logik und experimenteller Feinheit einzusetzen. Das anschauliche Denken bleibt manchmal weit zurück. Es ist darum nicht weniger wichtig. Aber weil man in Sphären arbeitet, die von den Reaktionsbereichen der menschlichen Sinne weit entfernt liegen, muss man sich notwendig auch sehr stark von den Anschauungs- und Denkgewohnheiten freimachen, die mit den gewöhnlichen Sinneserfahrungen und den mechanischen Experimentalmethoden in uns eingezogen sind. Die Denkmodelle werden ja immer aus der Nähe genommen. In solche weiten Distanzen tragen sie dann nicht.

IX.

Die Skizze einiger Grundkonzeptionen der Physik seit 500 Jahren, die hier zu geben versucht wird, muss unvollständig bleiben. Was soll sie liefern? Einen Leitfaden, eben nur einen Faden, zur Orientierung des Physiklehrers, der in den verschiedenen Lehrstunden die Einzelgebiete der Physik darzustellen hat. Man muss ja immer Einzelheiten darstellen. Aber es ist ein Unterschied, ob man sich der Einzelheit gefangen gibt, oder die Gesamtlinie des Weges im wachen Bewusstsein bewahrt. Wenn man einfache Dinge, wie die fundamentalen Maschinen, die goldene Regel der Mechanik und dergl. behandelt oder Apparate wie die Waage, Lupe, das Galvanometer, die Induktionsspule — soll man darüber nicht vergessen, wie die Strasse weitergeht und wohin sie bis heute geführt hat. Alle diese verhältnismässig einfachen Dinge sind genau gesehen unheimlich tief, und überdies alle miteinander verbunden. Immer wieder ist es das Spiel zwi-

schen Kontinuum (Feld) und Singularität (Massenpunkt-Elektron), wobei sich immer deutlicher in der Felderfahrung die Natur von Raum und Zeit und der entscheidende Zusammenhang zwischen Korpuskel und Welle, träger Masse und Energie zeigt. Es ist kein Zweifel möglich, in diesen 500 Jahren ist die Einsicht in den göttlichen Schöpfungsplan vorangeschritten; es gab immer neue Ueberraschungen. Immer grösser, immer tiefer, aber auch immer klarer und einfacher, trotz aller Bereicherung, wurde das Gesamtbild im Voranschreiten. Von der verwirrenden Fülle und Mannigfaltigkeit aller physikalischen Einzelheiten, Phänomene, Gebilde, Abläufe führt das Physikstudium, richtig geleitet, zu einer immer geringeren Zahl von Mitspielern. Die letzten Mitspieler verbergen sich auf die Dauer nicht. Sie zeigen immer mehr von ihren Wesenszügen. Die Wesenszüge sind anders, als man etwa durch reines Denken aus früh abgezogenen Begriffen schloss. Sie sind viel grossartiger, als man je denken konnte. Gott wird immer grösser in seiner Schöpfung, wenn man versucht, ihn darin ein wenig zu begreifen, und es ist ein unvergänglicher Gewinn, wenn man davon wirklich etwas erlebt hat: Die Geheimnisse der Schöpfung verschliessen sich nicht, wir können uns stufenweise nähern, wir können über Raum und Zeit sehr viel mehr aussagen als vor

Jahrhunderten; aber wir müssen das Opfer bringen, von den Sinnen eingeschleppte Gewohnheiten abzustreifen, dürfen Denkgewohnheiten nicht für Axiome halten, wir müssen mit einem Worte demütig sein, nichts vorwegnehmen, nichts kommandieren wollen. In dieser Ehrfurcht nahte Keppler sich der Schöpfung und dann Newton. In dieser Gesinnung erreichte Riemann neue Räume mathematischer und physikalischer Möglichkeit, in dieser Unterordnung hat Planck den Schlüssel für die heutige Physik gefunden. Das Grosse, das Erhabene ist nur dem Demütigen zugänglich, dem Stolgen bleibt es versagt.

Notiz zur Literatur.

Das beste orientierende Buch ist das soeben in 6. Auflage erschienene Werk von Prof. Dr. B. Bavink „Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften“.

Kein mir bekannter Autor verbindet mit einem so ausgebreiteten, zuverlässigen Wissen eine derartige Kraft klarer Darstellung. Jeder Lehrer der Naturwissenschaft sollte es zu Rate ziehen. — (Bei Hirzel, Leipzig.)

In dem Aufsatz ist an einigen Stellen Einsteins Buch: « Comment je vois le monde » (Flammarion) herangezogen.

Vertiefteres Studium erfordert natürlich die Benutzung der eigentlichen Fachliteratur. Es gibt Spezialwerke für alle diese Gebiete in genügender Auswahl.

Freiburg.

Friedrich Dessauer.

Umschau

Himmelserscheinungen im September und Oktober

Sonne und Fixsterne. Das Herbstäquinoccium tritt am 23. September im Zeichen der Waage oder im Sternbild der Jungfrau ein. Das weit ausgestreckte Sternbild des Walfisches mit der veränderlichen Mira Ceti und Menhar gehen nach Mitternacht durch unsern Meridian. Den herbstlichen Abendhimmel beleben anfangs

die schönen Sternbilder des Bärenführers, der nördlichen Krone und der Schlange, später der Schlangenträger und der Herkules; im Oktober dann Adler, Leier und Schwan mit der herrlichen Wega, Athair und Deneb, die zusammen ein grosses, fast rechtwinkliges Dreieck bilden. Cirkumpolar sind das Dreieck des Drachen und das W der Kassiopeja. Im Meridian der Fische, fast im Zenith, folgen, die fast linear angeordneten Sterne der Andromeda.